

# МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti-AL-Fe

**Гайсин Р. А.**

*Руководитель – с.н.с., д.т.н. Имаев Р. М.*

Учреждение Российской академии наук Институт проблем сверхпластичности  
металлов РАН, г. Уфа  
ramilgaisin@gmail.com.

Известно, что в титановых сплавах, легированных  $\beta$ -стабилизаторами, можно, в зависимости от концентрации, зафиксировать при закалке любое количество  $\beta$ -фазы вплоть до 100%. В закаленных сплавах  $\beta$ -фаза является нестабильной и при последующем низкотемпературном старении распадается с образованием дисперсных выделений вторичной  $\alpha$ -фазы, что даёт эффект упрочнения. Представляет интерес перенести эту идею на алюминиды титана. Получение микроструктуры, дисперсионно-упрочненной частицами интерметаллидных фаз, может существенно повысить твердость и износостойкость таких сплавов, что в сочетании с низким удельным весом и относительной дешевизной сделает перспективным применение алюминидов титана, например, в качестве материала подшипников или других деталей газотурбинного двигателя, работающих в условиях трения, повышенных температур и агрессивных сред.

Однако температурная область существования  $\beta$ -фазы у алюминидов титана лежит существенно выше, чем у титановых сплавов. Очевидно, необходимо существенно понизить температуру перехода  $\alpha+\beta\Rightarrow\beta$ , чего можно достичь уменьшением содержания алюминия и легированием  $\beta$ -стабилизирующими добавками. В этом отношении перспективны легкие интерметаллидные сплавы системы Ti-Al-Fe. Присутствие железа расширяет  $\beta$ -область и может обеспечить формирование мелкодисперсных интерметаллидов [1], необходимых для достижения высокой твердости. Для замедления диффузионных процессов целесообразным представляется легирование ниобием, широко используемым в  $\gamma$ -алюминиде титана для улучшения жаропрочности и жаростойкости [2]. Наконец, плодотворной представляется идея микролегирования бором, который в случае  $\gamma$ -TiAl сплавов известен как эффективный модификатор, способствующий измельчению структуры слитка.

В настоящей работе исследовались слитки сплавов Ti-38,5Al-4Fe и Ti-38,5Al-4Fe-5Nb-0,2B ( $\varnothing 30\times 12$  мм), полученные методом дуговой плавки в атмосфере аргона. Сплавы подвергались термической обработке в виде закалки и последующего старения. Структура сплавов изучалась с помощью оптического (Olympus GX51) и сканирующего электронного (Leo-1550 Zeiss SMT) микроскопов. Для определения фазового состава применялись рентгеноструктурный и энергодисперсионный анализы. Механические испытания на сжатие проводились на воздухе при температурах  $T=20, 600$  и  $800^\circ\text{C}$  с начальной скоростью деформации  $\dot{\epsilon}=5\times 10^{-4}$  с<sup>-1</sup> на испытательной машине Schenck RMS-100.

Изучаемые сплавы в литом состоянии сильно различались по микроструктуре. В сплаве Ti-38.5Al-4Fe микроструктура образована крупными равноосными колониями размером  $d=150\ldots800$  мкм с хаотичной ориентировкой мелкодисперсных пластин  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al, в то время как в микроструктуре второго сплава размер колоний существенно меньше ( $d=30\ldots180$  мкм) и они содержат более крупные пластины  $\gamma$ -TiAl. Матричная фаза в изучаемых сплавах образована B2-фазой – низкотемпературной упорядоченной модификацией фазы на основе  $\beta$ -Ti. Сплавы обладают высокой твердостью 51-54 HRC даже в литом состоянии.

Закалка сплавов в масло привела к растворению пластин и фиксированию  $\beta$ (B2)-фазы. При этом в микроструктуре сплава Ti-38.5Al-4Fe наблюдаются также мелкодисперсные выделения  $\alpha_2$ -фазы, вероятно, образовавшейся из-за недостаточно быстрого охлаждения при закалке в масло. Последующее старение приводит к существенному измельчению микроструктуры изучаемых сплавов за счет распада зафиксированной при закалке  $\beta$ (B2)-фазы на мелкодисперсную смесь частиц  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al,  $\gamma$ -TiAl,  $\tau_2$ -Al<sub>2</sub>TiFe ( $d=100\text{--}200$  нм) и значительному росту твердости (58-62 HRC).

Сплавы Ti-38,5Al-4Fe и Ti-38,5Al-4Fe-5Nb-0,2B в литом состоянии при комнатной температуре обладают высокой прочностью на сжатие ( $\sigma_B > 1700$  МПа), сохраняющейся и при  $T=600^\circ\text{C}$ . После термической обработки прочность на сжатие достигает  $\sigma_B=2000\text{--}2400$  МПа. Однако, закалка в масло с последующим старением приводит к хрупкому разрушению образцов при комнатной температуре. Испытания на сжатие при  $T=800^\circ\text{C}$  не приводят к разрушению образцов, эксперимент завершался при вторичном росте напряжения вследствие увеличения поперечного сечения образцов.

Полученные результаты показали, что принципиальная схема термической обработки, применяемая для дисперсионного упрочнения титановых сплавов, работает и в случае интерметаллидных сплавов системы Ti-Al-Fe. С помощью такой термической обработки в сплавах удастся получить структуру, упрочненную наночастицами интерметаллидных фаз, которая обладает высокой твердостью и прочностью.